



TITLE:

「二次の相転移」 第二回研究会

AUTHOR(S):

CITATION:

「二次の相転移」 第二回研究会. 物性研究 1963, 1(3): 208-213

ISSUE DATE:

1963-12-10

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/85536>

RIGHT:

研究会報告

「二次の相転移」 第二回研究会

森 肇 (京大基研)

西川 恭治 (東大教養)

10月の上旬に4日間、基研で上記の短期研究会が行なわれた。これは第二回目だが、この研究会の目的は、第一回の報告〔物性研究1(1963)55〕に述べたように、ひとくちで云えば、二次の相転移に伴なつて現われる応答係数の異常性や動的な異常現象の性格と機構とを明らかにし、相転移の本質を探ることであつた。

第一回は実験家にも積極的に参加して戴いて、国内でなされている仕事を中心として、現在の問題点の鳥瞰図を得ることに第一の目的をおいた。特に、動的な現象では、最近実験的にも理論的にも国内で興味深い研究がなされており、有意義であつたと思われる。今回は、来日された菊池良一氏をむかえ、非平衡系の菊池理論や国内の理論的研究を中心として、主に、方法論の討議を行つた。研究会のプログラムは

10月8日

ランダムなスピン系の相転移	阿 部 龍 蔵
Heisenberg Model のスピン系	小 口 武 彦
一次元の Heisenberg 模型	桂 重 俊

10月9日

Path probability method の一般論	菊 池 良 一
対相関の dynamics	西 川 恭 治
稀薄合金の電気抵抗	金 徳 洲

合金の電気抵抗の異常 万 成 勲

10月10日

二時間グリーン関数法による磁気緩和の理論 ... 富 田 和 久

強磁性緩和のグリーン関数理論 田 中 基 之

反強磁性スピン波 谷 憲 輔

反強磁性体の異常磁気緩和 森 肇

10月11日

強誘電体の誘電緩和現象 松 原 武 生

Order-disorder の kinetics とその応用 ... 菊 池 良 一

であつた。4日目の午後には討論会がもたれ、その席上、菊池氏の変分原理に対応して、中野氏の変分原理を聞いた。研究会での話の要旨は後載のレポーターの報告を見て戴くことにして、ここでは、discussion に現われた話を二、三補足しておきたい。

第一日目には、平衡系の話が行なわれた。三つの計算については、特に積極的なコメントは聞かれなかったが、random なスピン系に類似な問題として、固体水素の相転移における para-ortho の分布、有機物の free radicals の分布などの処理および percolation problem があげられた。Oguchi の計算に関連しては、近似的な自由エネルギーの式に極小原理を使つて得られる下限は正確な下限とどんな関係をもつのか、などの疑問が寄せられた。

第二日目以後は動的な現象の話がなされた。二つの研究会を通じて論議された動的な異常現象としては

- ① collective mode の消失 (スピン波, BaTiO₃ の最低光学的横波, 第二音波, 等)
- ② 緩和過程の異常 (合金の長距離秩序・対相関の緩和, 強磁性スピン拡散, 反強磁性共鳴, 等)

③ critical scattering (中性子線散乱, 核磁気共鳴, 電気伝導, 熱伝導, 等)

の三つの型があげられる。③では①, ②がわかれば理論的方法上の困難は少く, ①ではむしろ各物質特有のモデルが問題である。今回は②の理論的研究が中心であつた。

合金のような order-disorder 系で, 長距離秩序と短距離秩序の異常緩和を最初に体系的に取扱つたのが Kikuchi 理論であるが, この理論は統計力学的にも新しい要素を含んでおり, 研究会の中心的議題の一つであつた。その応用として, 菊池氏の報告にあることの他に, nucleation の問題, polymer の粘弾性, biopolymer の相転移, pearlite の phase boundary の温度変化があげられた。しかし, Kikuchi 理論にもいくつかの欠点があり, それを取除くため, Matsubara および Nishikawa は対相関の時間変化を kinetic に導く方法を提案した。この方法は直観的で簡明なことで勝れている。これらの方法は, しかし, 遷移確率を定義できないような体系, 例えば, Heisenberg Spin 系の緩和には適用できない。このような体系に対しては緩和関数法, 二時間グリーン関数法が有効であることが示された。これら種々の方法の本質的な仮定を(表1)に纏めてみた。

(表1) 異常緩和の諸理論に含まれる主な仮定

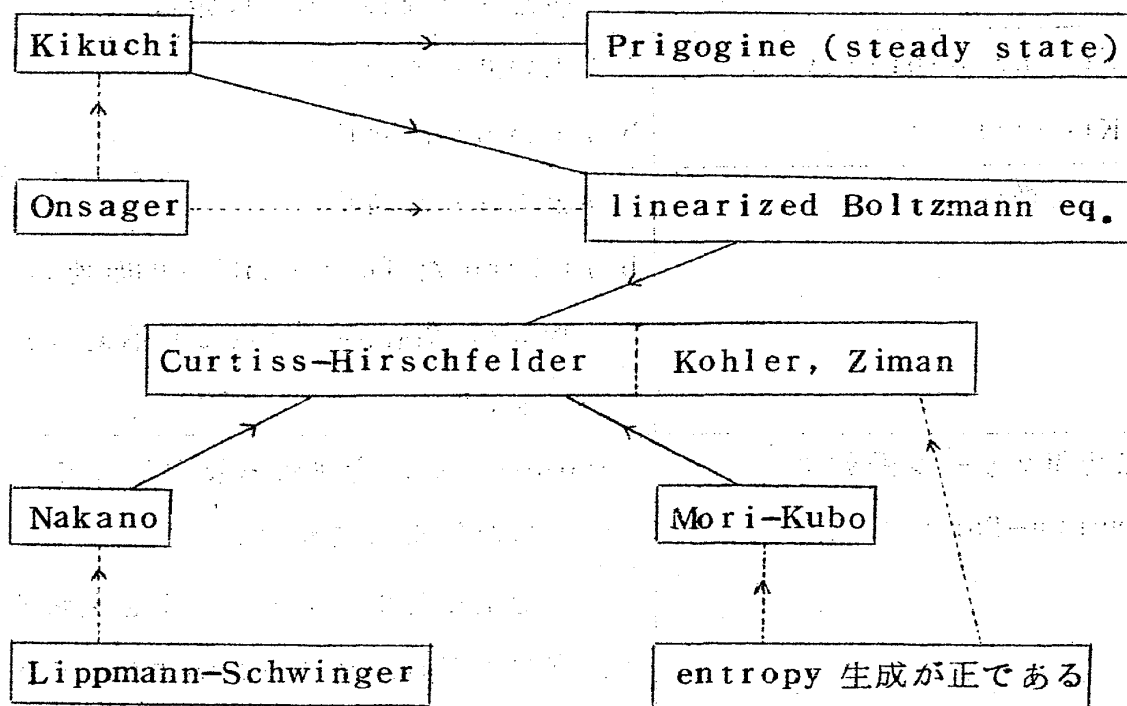
(1) 現象論	<p>a) 適当な力学変数の組を状態変数にとれば, collective な(巨視的)運動を表わせるとする ($\tau_{\text{macro}} \gg \tau_{\text{micro}}$)。</p> <p>b) Flux と Force との線型関係を仮定。</p>
(2) kinetic な方法	a) 上の a) に同じ。

(Nishikawa, Matsubara)	b) micro な過程が単位時間当りの遷移確率で表わせると仮定。
(3) path probability の方法 (Kikuchi)	a) 上の a) に同じ。 b) 上の b) に同じ。
(4) 緩和関数法	a) 上の a) に同じ。 b) micro な force の時間的揺動の相関が τ_{micro} で殆んど消えると仮定。
(5) 二時間グリーン関数法 (Tomita-Tanaka)	decoupling に含まれる仮定として a) 適当な低次の二時間グリーン関数の組で，ひとまず，方程式系を閉じる。 b) 高次の二時間グリーン関数からくる micro な効果は Gaussian extrapolation で近似できると仮定 (Wing 近似のとき)。

〔註〕 どんな力学変数の組やグリーン関数の組をとるかは見つめているものによつて異なるが，系の対称性，保存則，近似の程度などによつて定まつてくる。

外部からの刺激に対する応答として現われる種々の現象は緩和関数や二時間グリーン関数で表わすことができる。これらの関数の時間変化を定めるには不可逆過程の統計力学が必要であるが，残念ながら，まだそれは出来上っていない。従つて，ここには，相転移固有の問題と共に，不可逆過程の基本的問題が同時に現われてくるわけである。この二つの問題がかなり分離できる場合（スピン拡散，磁気共鳴，etc.）とそれが本質的に絡み合う場合（転移点以下での合金の対相関や反強磁性体の部分格子磁化の緩和 etc.）

(表2) 不可逆過程における諸変分原理間の関係



(註) →は導けることを, - - - - - →は物理的な関連を示す。

とがあるが、後者の方が勿論より難しく、それだけ理論も不完全である。

(表1)の方法は前者の場合に有効と見られるわけだが、それぞれの特徴を見てみよう。

(2)の方法は Boltzmann の式に似た特徴をもち、その平衡解として平衡状態での長距離秩序、対相関が与えられると共に、線型化した式からそれらの緩和の様子が導ける。(3) (2)を含みうるとともに、一般的な変分原理に基づいている点で特徴的である。しかし、変分変数のとり方には任意性があり、近似を consistent に進めようとする、かなり煩雑となるであろう。(2), (3)で micro な過程を Boltzmann 流儀に遷移確率で表わすのに対照的に、(4)では Brown 運動流儀にある micro な量 (fluctuating force) の時間的揺動で表わす。従つて、(4)で得られた輸送係数の式はより一般的な micro な過程に対しても成立つ。(2), (3), (4)では仮定 a) を最初におくた

め、その仮定の有効性は理論の consistency から定めるか、理論の枠外にその criterion を求める他ない。このような仮定もその理論の枠内で処理しようとする点で、方法(5)は統計力学的に orthodox である。この方法は、Liouville の式から明確な条件の下で transport eq. を見出そうとする思想に沿っており、それだけに幾つもの困難を内蔵しているわけである。現在の二時間グリーン関数法では、それらの問題が decoupling の一点に集中して現われ、例えば上の仮定 a) に対応した仮定もここに含まれているが、未だこの decoupling の criterion は明らかにされていない。巨視的体系は少数の力学変数 (state variables) で記述できる organized motion を行なうが、その振動数 (あるいは緩和時間の逆数) より小さいか同程度の振動数をもつ外部的刺激に対する応答には、この collective motion が顔を出す。二時間グリーン関数法では、ある特定の応答関数 (二時間グリーン関数) $\langle\langle A; B \rangle\rangle$ を通じてこの運動を取出そうとするわけだが、その左側 A を時間微分によつて括けて得られるグリーン関数の組だけをとるのでは、たとえ無限個とつても、系の運動の特定の斜影だけを見つめているわけで、従つて、問題によつては系の collective な運動を旨く引き出し得ないことがある。例えば、音波を密度相関関数 (中性子散乱の応答) だけから見ようとするとき、この困難が陽に現われることは良く知られている。(2), (3), (4) では適当な state variables を見つけて、collective な運動を出来るだけ直接に写し出す部分空間で話をしようとするわけで、この点で両者は著しく異っている。スピン系の緩和では、また、交換相互作用の dynamical coherence できるガウス型減衰をどう取扱うか、という問題がある。ガウス型減衰では無限個のグリーン関数が寄与するわけだが、この問題に対して Matsubara は母関数法を提案している。このように、二時間グリーン関数法が統計力学的に orthodox なものとして成長するには、いくつかの基本的な問題が解明されねばならない。